

农村饮用水净化工艺及设备的选择

傅薇莉, 陈慧妃

(武义县水利水电勘测设计所, 浙江 金华 321200)

摘要 从农村饮用水水质问题突出和水体污染的广域性, 阐述饮用水净化的必要性和优先利用现有水库作为农村饮用水水源工程的可行性。提出根据不同的原水水质确定净化工艺流程, III ~ V 型集中式供水工程净水设备的选用及其设计参数、消毒药剂的选择以及饮用水消毒副产物的控制, 并合理配置管网系统。

关键词 农村饮用水; 净化工艺与设备; 管网配套

中图分类号 :TU991.2 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2008)S1-0091-04

1 农村饮用水安全现状

随着经济的发展, 工业、农业、生活造成饮用水水源污染问题日益严重。现有检测技术发现, 饮用水水源中有机污染物有 2 221 种, 饮用水中有机污染物有 765 种, 并确认其中 20 种为致癌物, 23 种为可疑物, 18 种为促癌物, 56 种为致突变物, 总计 117 种有机物被列为优先控制的污染物^[1]。据对 234 个农村供水站的饮用卫生监测, 其细菌指标合格率仅为 8.81%, 农村自来水普及率尚不到 40%, 仅有 14% 的村庄有供水设施, 而且供水质量和供水效率均较低, 水处理设施十分简陋。2007 年环境绿皮书指出, 全国约有 3.2 亿农村人口饮水不安全, 8 亿人饮水安全仍受到威胁。

截止 2005 年底, 浙江省金华市农村自来水普及率为 69.1%, 全市 100 万左右农村人口仍在饮用受到不同程度污染的溪河水、塘水和公用大口井水。目前, 金华市农村总人口(不包括外来人口)361.15 万, 其中饮用水安全或基本安全的人口为 149.42 万, 占农村总人口的 41.4%; 饮用水不安全人口 211.73 万, 占农村总人口的 58.6%。其中饮用水水质超标集中在细菌总数、总大肠菌群、锰、铁、浑浊度等指标不合格, 涉及超标饮用水人口 67.96 万, 尤为严重的是全市尚有 45 个乡镇, 322 个村, 20.7 万人存在饮用水含氟超标问题^[2]。

可见, 农村饮用水的水质问题非常突出, 饮水安全是亟待解决的大问题。

2 利用水库资源, 建设水库供水工程

深入基层调查摸清饮用水不安全的问题所在, 重新确定供水方案, 优先使用地势较高、具备重力自流取水的水库山塘作为水源工程。要求其水源水库水质符合 GB3838—2002《地表水环境质量标准》的要求, 或符合 CJ3020—93《生活饮用水水源水质标准》的要求, 有多个水源可供选择时, 对其水质、水量、工程投资、运行成本、施工和管理条件、卫生防护条件等进行综合比较, 择优确定。

原则上当水源水质不符合要求时, 不宜作为生活饮用水水源。若限于条件必须加以利用时, 应采用相应的净化工艺进行处理。

3 净化工艺流程和净水设备确定

饮用水净化的目的是通过必要的水处理设施除去水中的杂质, 使之符合生活饮用水标准。

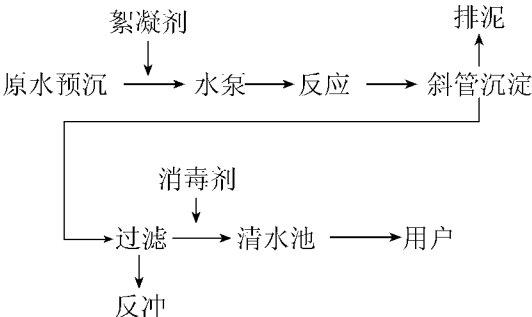
水源水质符合相关标准时, 可采取如下净水工艺: 对水质良好的地下水, 可只进行消毒处理; 当原水浊度长期不超过 20 NTU, 瞬间不超过 60 NTU 时, 可采用慢滤加消毒或接触过滤加消毒的净化工艺; 当原水浊度长期低于 500 NTU, 瞬间不超过 1 000 NTU 时, 可采用混凝沉淀(或澄清)过滤加消毒的净化工艺; 原水含沙量变化较大或浊度经常超过 500 NTU 时, 可在常规净水工艺前采取预沉措施; 高浊度水应按 CJJ40《高浊度水给水设计规范》的要求进行净化^[6]。

3.1 含一般悬浮物杂质的地表水

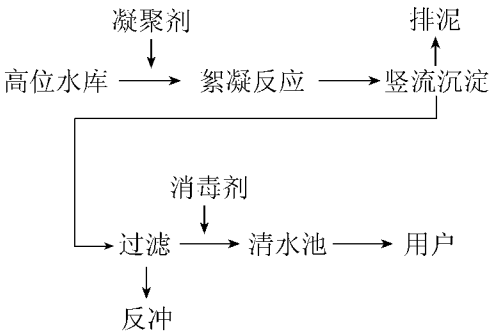
原水中仅含有一般悬浮物, 不含有机物、铁、锰,

可采用在具有反应、沉淀、过滤效应的净水设备前投加聚凝剂,经过常规净化处理后消毒杀菌。

a. 原水浊度不大于 3 000 mg/L 的地表水



b. 原水浊度小于 1 000 mg/L 的地表水



3.2 有机物、藻类、色度、腥臭味含量较高的原水

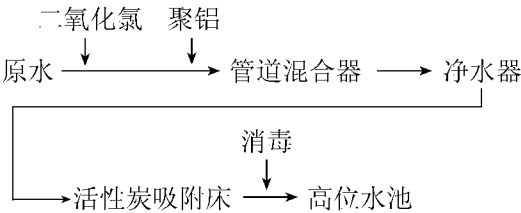
对有机物、藻类、色度、腥臭味含量较高的原水,采用臭氧预氧化分解有机物,按常规净化处理后,再经活性炭吸附,去除有机物、色度和腥臭味,最后进行氯化消毒杀菌。

活性炭是一种经过气化(炭化、活化)制成发达孔隙,以炭作骨结构的黑色固体物质。活性炭的发达孔隙,使其出现很大的表面积。活性炭表面积可达 600~16 500 m²/g,从而具有良好的吸附特性,使水中的污染物质在活性炭表面密集或浓缩。

活性炭能吸附原水中部分腐殖酸、异臭、色度、农药、烃类有机物、有机氯化物、洗涤剂,还能去除水中铬、汞、银、铅等重金属,余氯、氰化物、放射性物质、氨氮等部分无机污染物。用于吸附水中污染物的活性炭有粉状活性炭(GAC)和粉末活性炭(PAC)^[3]。

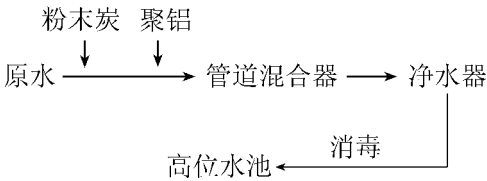
活性炭吸附常见的工艺流程有以下两种。

a. 工艺流程 1



按此工艺流程,采用二氧化氯氧化、降解有机物,投加聚合氯化铝絮凝,经净水设备过滤除浊,活性炭进一步吸附有机物污染物后,再用氯片消毒灭活。

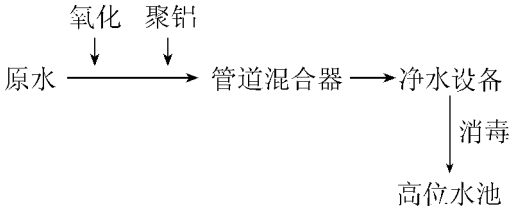
b. 工艺流程 2



粉末活性炭(PAC)和聚合氯化铝溶解在水中,搅拌均匀,混合后用计量泵投加。粉末活性炭与处理水量的投配比不宜超过 10%,否则将使净化后的出水呈灰色,增加水的色度和浊度^[4]。

3.3 铁和锰含量较高的原水

对锰、铁含量较高的原水,先采用二氧化氯氧化法氧化锰、铁,然后按 3.1 常规工艺流程处理。



为保证适当的氧化反应时间,二氧化氯加注点宜在净水设施前 30~50 m 的位置为宜。

4 净水设备的选用及其设计参数

4.1 石英砂滤料与纤维滤料的性能参数

过滤水的质量最主要的决定因素是滤料,目前国内一体化或组合式净水设备填装的滤料多数是活性炭、无烟煤、均质石英砂等,还有一些厂家采用束状纤维、纤维球、彗星式纤维为滤料,一般纤维滤料的性能参数优于石英砂滤料^[5],两者比较见表 1。

表 1 纤维与石英砂滤料性能参数比较

滤料名称	孔隙率	截污容量/(kg·m ⁻³)	滤速/(m·s ⁻¹)	使用年限/a
石英砂	0.43~0.5	2.5~3.0	10~12	3~5
纤维	0.8	15~35	20~60	10

4.2 净水器的选型

对Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ型供水工程,原水浊度或经过预沉后浊度较低且变化较小时,可选择净水器净化水。

净水器的选择应根据原水水质、预沉条件、设计规模,通过产品性能调研比较后确定。

4.2.1 重力式一体净水设备

对于原水浊度不大于 3 000 NTU 的水库、江河、湖泊、溪水的净化处理选用重力式一体化净水设备。该装置有以下性能优点。

a. 装置从混合、混凝反应、斜管沉淀、过滤、出水水质监测、反冲、消毒到排泥等一系列系统工作流程均达到了定时运行的效果。同时,通过中央控制

PLC 控制系统可采用全自动控制 ,或值班员工根据指定时间监测水质、操作阀门排泥。

b. 高浓度絮凝层能提高原水中杂质铝料的碰撞和吸附几率 ,有效提高固体悬浮物的去除效果 ,同时具有除藻功能。

c. 泥渣浓缩室及可调式排泥系统能保证多余泥渣及时排除 ,使设备稳定运行。

d. 设备过滤装置可自动反冲洗 ,节省基建投资及日常运行费用。

e. 设备占地面积小 ,可分体运输安装 ,方便扩建、改造、搬迁或移地再用。

武义县 2005 年新宅镇、柳城镇等农村饮用水工程选用 ZD 型一体化式净水器 ,处理后水质达到饮用水标准。

4.2.2 高效组合式净水设备

对原水浊度不大于 1000 NTU 的水库、江河、湖泊、溪水的净化处理选用高效组合式净水设备。该装置有以下性能优点。

a. 可在一定压力下正常运行 ,既保证出水压力 ,又满足水质处理要求 ,净化出水可直接输送至高位水塔 ,省去一般供水工程所需的二级水泵及配套设施 ,节约投资及运行费用。

b. 采用反应沉淀器与压力过滤器组合 ,运输方便、安全灵活 ,不受地势限制 ,适用范围广。

c. 选用活性炭、无烟煤、均质石英砂等综合配比滤料 ,价格低 ,过滤效果好 ,出水水质稳定。

d. 设备连接管路少 ,操作简便 ,易于管理和维护。

e. 设备为全封闭式 ,安全 ,适应性强。

武义县 2006 年茆店镇、桃溪镇、大田乡等农村饮用水工程选用 LB 组合高效净水器 ,水处理效果良好。

4.2.3 其他设备

对于原水浊度 ≤ 100 NTU 的地表水选用 LZ 型纤维过滤器 ,对于原水浊度 ≤ 60 NTU 的地表水选用压力过滤器。

4.3 净水器设计参数

4.3.1 纤维滤料净水器

a. 纤维球、彗星纤维滤料高度 800 ~ 1 000 mm ,纤维束滤料高度 1 400 ~ 1 600 mm ;

b. 过滤区滤速 20 ~ 30 m/h ;

c. 适用原水浊度 ≤ 500 NTU ,滤后出水浊度 ≤ 1 NTU ;

d. 总停留时间 25 ~ 40 min ;

e. 运行压力 :一体化式 $P \leq 0.06$ MPa 组合式 $P \leq 0.3$ MPa。

4.3.2 石英砂净水器

a. 絮凝沉淀装置停留时间 10 ~ 15 min ,运行压

力 :一体化重力式 $P \leq 0.06$ MPa ,组合式 $P \leq 0.3$ MPa ,高效净水式 $P \leq 0.05$ MPa ;

b. 液面上升流速 2 ~ 3 mm/s ,颗粒沉降速度 0.3 ~ 0.5 mm/s^[7] ;

c. 横向流板内流速 10 ~ 20 mm/s ,颗粒沉降速度同上升流速度 0.3 ~ 0.5 mm/s^[7] ;

d. 滤料总厚度(滤床高度)800 ~ 1 000 mm ;

e. 过滤区设计滤速 8 ~ 14 m/h ;

f. 适用原水浊度 :一体化重力式 ≤ 3000 NTU ,组合式 ≤ 1000 NTU ,滤后出水浊度 ≤ 1 NTU ;

g. 总停留时间 :一体化重力式 45 ~ 50 min ,组合式 35 ~ 40 min ,高效净水式 25 ~ 30 min。

4.3.3 组合式石英砂压力过滤器

a. 组合装置总停留时间 35 ~ 50 min ,运行压力 ≤ 0.3 MPa ;

b. 絮凝沉淀装置反应历时 8 ~ 10 min ,沉淀负荷 8 ~ 10 m³/(m² · h) ,液面上升流速度 2.0 ~ 2.5 mm/s ,颗粒沉降速度 0.3 ~ 0.5 mm/s^[7] ;

c. 滤速 6 ~ 8 m/h ;

d. 原水适应浊度 ≤ 500 NTU ,滤后出水浊度 ≤ 1 NTU。

4.3.4 颗粒活性炭滤器^[3]

作为生活饮用的微污染水源 ,经过常规净化后 ,水中的有机、无机物含量仍超过规定时 ,采用颗粒活性炭吸附工艺或臭氧—生物活性炭吸附工艺进行深度净化。

a. 颗粒活性炭(GAC)规格、特性参数符合 CECS124—2001《颗粒活性炭吸附池水处理设计规程》。当采用定型炭时 ,柱径为 1.5 mm ,柱长度为 1.0 ~ 2.5 mm ;

b. 空床接触时间为 10 ~ 15 min ;

c. 固定床空床滤速为 8 ~ 20 m/h ;

d. 固定床滤池炭层厚度为 1.0 ~ 2.5 m ;

e. 承托层厚度 5 层级配粒径排列由下至上 :8 ~ 18 mm ,厚 50 mm ;4 ~ 8 mm ,厚 50 mm ;2 ~ 4 mm ,厚 50 mm ;4 ~ 18 mm ,厚 50 mm ;8 ~ 16 mm ,厚 50 mm ;

f. 炭滤器高径比按 3:1 ~ 4:1 ,总高度大于或等于 3 m ;

g. 冲洗强度 11 ~ 13 l/(m² · h) ,历时 8 ~ 12 min。

5 消毒药剂的选择

消毒剂可采用液氯、次氯酸钠、二氧化氯、漂白粉或漂粉精等 ,无配水管网且规模较小水厂可采用紫外线消毒。

a. 原水含一般悬浮物杂质 ,不含或含微量有机

物污染,在净水器处理后可用氯片或次氯酸钠消毒。

b. 原水中有有机物含量较高时,经净水器处理后,用设有温控器的高纯度二氧化氯发生器现场制备二氧化氯杀菌消毒。不应选用氯化法消毒,避免产生饮水消毒的副产物。

c. 采用氯消毒时,出厂水游离性余氯应不低于 0.3 mg/L,管网末梢水游离性余氯应不低于 0.05 mg/L^[6]。

d. 采用二氧化氯消毒时,出厂水二氧化氯余量应不低于 0.1 mg/L,管网末梢水二氧化氯质量浓度应不低于 0.02 mg/L,亚氯酸盐质量浓度应不超过 0.8 mg/L^[6]。

6 饮水消毒的副产物^[7]

消毒副产物(DBP)是消毒剂和原水中的天然有机物(NOM)或无机物发生化学反应生成对饮水安全有潜在威胁的“三致”(致癌、致畸、致突变)副产物。

天然有机物是饮用水中消毒副产物的母体(TOX),其浓度和性质对消毒副产物的生产有明显的影响。天然有机物的浓度通常用总有机碳(TOC)或溶解性有机碳(DOC)表示。一般,天然有机物越多,加氯后生成的消毒副产物越多。

天然有机物有多种成分,如腐殖酸、富里酸、疏水酸、亲水酸等,在同样加氯条件下,各种成分所生成的消毒副产物量是不同的。为了控制加氯后水中生成的消毒副产物,应在加氯之前采取原水预氧化,再采取絮凝、沉淀、过滤、吸附处理工艺,尽量降低天然有机物的浓度,保障饮水安全。

7 充分利用水源势能,合理配置管路

7.1 合理配置管路,保证净水设备进水压力

为了保证管网的正常运行、消防及维护管理,管网上必须装设各种必要的附件,若重力流输水管道地形高差超过 60 m,并有富余水头时,应在适当位置设置减压阀、消能池或者稳压井,以避免爆管和降低净水设备的进水压力,保证净水设备和用户的供水压力,在管道凸起点、过桥及每隔一定距离应设自动(排)气阀,以防止倒虹吸形成负压、管壁内凹或者爆管。在管道低凹处,为了维修管道和放空管内积水而设置泄水阀^[8]。如在坦洪乡农村饮水工程中,水源地距净水设备高差 150 余米,在管路上设置了 5 只 PK-100 排气阀,于合适位置设置减压阀,在管道压力点最大的末端最低处增设了吸气阀,满足了设备进水压力小于 0.3 MPa 要求。

向多个村镇输水时,分水点下游侧的干管和分水管上应设检修阀,需分压供水时,应在适当位置设

加压泵站。

7.2 自流管路的水力坡降,要满足设计流量和经济流速的要求

根据落差选择的引供水管道,应满足设计流量和经济流速要求。 $dn50 \sim 150\text{ mm}$ 管道的经济流速可取 $0.60 \sim 0.75\text{ m/s}$, $dn150 \sim 300\text{ mm}$ 管道的经济流速可取 $0.60 \sim 1.0\text{ m/s}$ ^[9]。

管道的流速不宜低于 0.5 m/s ,否则将出现沉淀现象,尤其是原水浊度较高的水源。

如果高差有限,不能靠重力自流至净水系统的安装位置,经过水力计算,满足了设计水量的经济流速,可选择管径合适的引水管道在途中设置无负压加压泵提升,或者建造蓄水池设泵吸水提升。

设管道泵或者建蓄水池设泵提升,要注意自流管路的流量、流速与管道泵或加压泵的流量、扬程互相匹配。

8 结 语

结合金华地区农村饮水工程建设的实施情况,经过十几年的工程实践,针对山区农村人口分散、交通不便、经济水平低、大型净水工程难以贯通、水源一般为水库水山溪水的特性,根据原水水质、设计规模,配置合理的净化工艺,选择经济、实用、高效的净水器,合理布设输水管道,可以妥善解决农村饮水不安全问题。

经过科学规划,选择更适宜的饮水水源,通过水质净化、管网设施配套等工程,推进农村水污染防治,实施农民饮水安全工程以保障饮水安全,维护生命健康是可行和十分必要的,也是建设资源节约型和环境友好型社会的重要内容。

参考文献:

[1] 李圭白,张杰.水质工程学[M].北京:中国建筑工业出版社,2000:15.
[2] 孙球.金华市农村饮水现状调查评估报告[R].金华:金华市水利局,2005:42-43.
[3] 上海市市政工程设计研究院.给水排水设计手册(第三册)城镇给水[M].二版.北京:中国建筑工业出版社,2004:759-786.
[4] 游文书.辉发河污染水的净化与管理初探[J].中国供水卫生,1997(3):39-41.
[5] 游文书.纤维束滤料滤池在给水处理中的生产试验[J].给水排水,2001(2):27-30.
[6] SL310—2004 村镇供水工程技术规范[S].
[7] 崔玉川,吴建,陈宏平.给水处理设施计算[M].北京:化学工业出版社,2003:109-123.
[8] 严敏,谭章荣,李忆.自来水厂技术管理[M].北京:化学工业出版社,2005:175-176.
[9] 张启海,原云英.城市与村镇供水工程[M].北京:中国水利水电出版社,2005:48.

(收稿日期 2008-01-04 编辑 徐娟)